

CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA DE SOLDAS DEPOSITADAS EM CAMADAS SOBRE CHAPA DE AÇO ARBL X80 UTILIZANDO O PROCESSO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA COM ARAME TUBULAR*

Angel Rafael Arce Chilque¹
Patricia Sheilla Costa²
Rúbia da Silva Celina Rocha³

Resumo

Um estudo visando à caracterização metalográfica e metalúrgica foi realizado em um aço ARBL (alta resistência e baixa liga) tipo X80, soldado com o processo arame tubular (FCAW) robotizado, com três diferentes níveis de energia de soldagem. Para tal foram utilizadas técnicas de metalografia óptica e microdureza Vickers (Hv). Foram depositados cordões de solda em forma de camadas sobre chapas do aço X80, variando a energia de soldagem e sem pré-aquecimento, no estado como soldado. Os resultados mostram que a técnica de sobreposição utilizada, com baixa e média energia de soldagem, não foi suficientemente adequada para melhorar as propriedades metalúrgicas dos cordões depositados anteriormente, inclusive da ZTA do metal de base. Os cordões depositados com alta energia de soldagem promoveram crescimento do tamanho de grão da GGZTA do aço X80 com a consequente diminuição da resistência ao impacto. Este trabalho dá subsídios para uma melhor compreensão das soldas multipasses.

Palavras-chave: Aço X80; Soldagem com arame tubular; Caracterização metalográfica; Teste de impacto.

METALLOGRAPHIC CHARACTERIZATION OF WELDS DEPOSITED IN LAYERS ON STEEL HSLA X80 USING THE ROBOTIZED WELDING PROCESS WITH FLUX-CORED WIRE

Abstract

A study to characterize metallographic and metallurgical was performed on HSLA (High Strength Low Alloy) steel X80 type, welded with robotized process with flux-cored wire (FCAW) with three levels of welding energy. For this, it was used techniques of optical metallography and Vickers hardness (Hv). Were deposited weld beads in the form of layers on X80 steel plates, varying the welding energy and without preheating in the as-welded condition. The results show that the overlay technique used to form the solder layers with low and medium energy welding was not enough to improve the metallurgical properties of previously deposited beads including the HAZ. For beads deposited with high welding energy there was a marked growing of the grain size in the HAZ which affect the impact resistance of the HAZ. This work gives subsidies for a better comprehension of the multipass welds.

Keywords: Steel X80; FCAW; Metallographic characterization; Impact test.

¹ Engenheiro Metalúrgico, Docteur es Sciences Physiques, Professor, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Faeng/UFG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

² Engenheira Metalúrgica, graduação, estudante, departamento de Engenharia Metalúrgica, UFG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

³ Engenheira Metalúrgica, graduação, estudante, departamento de Engenharia Metalúrgica, UFG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande competitividade no setor siderúrgico, novos aços são desenvolvidos com o objetivo de atender aos requisitos severos de resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade. Exemplo desse desenvolvimento são os aços microligados ARBL empregados no campo estrutural, nas indústrias petrolíferas e navais, por apresentarem boas características de tenacidade, níveis relativamente altos de resistência e boa soldabilidade.

Estes novos aços podem ser utilizados na fabricação de tubos de grandes diâmetros para extração do petróleo, plataformas offshore, construção naval, indústria automotiva e estruturas metálicas. Essas aplicações envolvem severas condições de operação, alta exigência de segurança e como todo ramo, baixo custo.

Dessa forma, o desenvolvimento da metalurgia destes aços torna-se cada vez mais importante, principalmente quanto à soldabilidade. Para melhorar tal característica é necessária uma diminuição no teor de carbono do material, por isso estes novos aços precisam passar por mecanismos de endurecimento que eliminem a necessidade deste elemento [1]. Os aços ARBL possuem baixo teor de carbono, boa resistência mecânica e tenacidade que são conseguidas através de adições de elementos de liga em baixa quantidade e com o tratamento termomecânico de laminação controlada (Thermo-Mechanical Control Process ou TMCP).

Em termos de Brasil, com a crescente demanda de gás natural, a Petrobrás acelerou a autossuficiência na sua produção, fazendo altos investimentos na construção de novos gasodutos. Para satisfazer essa demanda além de uma operação mais econômica de transporte, exige-se o aumento de volumes de combustível a pressões cada vez mais elevadas [2]. Há então a necessidade de utilizar tubos com aços de elevada resistência mecânica, fazendo com que os investimentos se direcionem para os aços ARBL tipo API (American Petroleum Institute) 5L X70, X80, X100 e X120, [3].

Devido ao elevado volume de soldas previstas para a soldagem de dutos é importante considerar a introdução racional de processos de soldagem semiautomáticos e automáticos. Uma alternativa para os passes de enchimento e de acabamento seria o uso do processo robotizado com arame tubular, tanto pela qualidade da solda como pela maior produtividade que o processo oferece.

É importante que essas tecnologias inovadoras sejam acompanhadas de estudos de caráter metalúrgico e de soldabilidade e, o aço X80 tem suas aplicações restritas devido ao pouco conhecimento sobre seu comportamento microestrutural quando soldado. Por isso o estudo sobre o comportamento da ZTA (Zona Termicamente Afetada) e da ZF (Zona Fundida) deste aço torna-se necessário para se conhecer e controlar melhor sua estrutura metalúrgica quando soldado pelo processo robotizado com arame tubular, e em consequência as suas propriedades mecânicas e de uso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metal de Base e Metal de Adição

O aço de alta resistência e baixa liga X80 é o metal de base do presente estudo e é especificado pela norma API 5L (2013), [4]. Sua composição química é apresentada na Tabela 1. O aço foi fornecido pela Usiminas na forma de chapa sendo a espessura de 19,0 mm.

Tabela 1. Dados de composição química do aço API 5L X80.

C	Si	Mn	P	S	N	Ni	Cr	Mo
0,04	0,18	1,79	0,014	0,001	0,0050	0,0100	0,17	0,20
Al	V	Nb	Ti	Cu	Ca	V+Nb+Ti	CE _(IIW)	Pcm
0,026	0,027	0,066	0,014	0,015	0,0019	0,107	0,419	0,161

Fonte: Usiminas

A seleção do metal de adição baseou-se principalmente na semelhança de composição química com o metal de base e nas propriedades mecânicas oferecidas no certificado do fabricante. Para a composição dos cordões o arame utilizado foi o Arame Tubular Autoprottegido OK Tubrod98OA (AWS E91T8-G) com diâmetro de 1,6mm, fornecido pela Esab. A composição química do arame encontra-se descrita na Tabela 2. A análise de Carbono e Enxofre foi feita no equipamento Leco CS 600 e os demais elementos em um espectrômetro de emissão ótica - Thermo Scientific ARL 4460 Metals Analyzer.

Tabela 2. Dados de Composição química do Arame Tubular Autoprottegido AWS E91T8-G.

C	Si	Mn	P	S	N	Ni	Cr	Mo
0,042	0,234	2,013	0,0126	0,0019	0,0042	0,660	0,043	0,028
Al	V	Nb	Ti	Cu	Ca	V+Nb+Ti	CE _(IIW)	Pcm
0,718	0,0046	0,015	0,0050	0,0050	-	0,025	0,437	0,166

Fonte: ArcelorMittal Monlevade

A soldagem dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação (LRSS) da UFMG. Foi utilizado um robô Motoman que está dotado de sistemas de aquisição de dados para registro da corrente, tensão e velocidade de soldagem.

2.2. Métodos

As informações sobre propriedades mecânicas foram obtidas através do ensaio de microdureza e a microestrutura foi caracterizada por meio de microscopia ótica e metalografia quantitativa e semiquantitativa. Para tal levantamento foram realizadas camadas de solda na posição plana sobre a chapa de aço X80 com um, dois e três cordões para cada condição de soldagem, utilizando três diferentes níveis de aporte térmico. Os parâmetros de soldagem foram definidos de forma a se obter os níveis de energia pré-determinados para baixa (600 a 700J/mm), média (1000 a 1500J/mm) e alta energia de soldagem (2000 a 3000J/mm). A Tabela 3 mostra a programação de testes para os corpos de prova utilizados.

Para cada nível de energia foram realizadas três camadas de solda compostas por um, dois e três cordões. A Figura 1 ilustra como foram dispostos os cordões.

Após preparação metalográfica, a macrografia foi realizada utilizando estereoscópio Olympus SZ60 e para micrografia, microscópio óptico Olympus BX60M. Para medição da microdureza foi utilizada a norma ASTM E384-11 [5] e o microdurômetro utilizado foi Shimadzu aplicando 100g de carga durante 15 segundos. Foram realizadas medições de microdureza em todas as amostras na direção horizontal, vertical e embaixo dos cordões na GGZTA (região de crescimento de grão da ZTA) de cada cordão.

Tabela 3. Programação de testes.

Corpo de Prova	Energia de Soldagem (J/mm)	Testes realizados					
		Macrografia	Micrografia	Microdureza	Tamanho de grão da GGZTA	Metalografia Quantitativa	Largura da ZTA
01ATB	640	R	R	R	R	R	R
02ATB	608	R	R	R	NR	NR	NR
03ATB	608	R	R	R	NR	NR	NR
01ATM	1173	R	R	R	R	R	R
02ATM	1173	R	R	R	NR	NR	NR
03ATM	1202	R	R	R	NR	NR	NR
01ATA	2229	R	R	R	R	R	R
02ATA	2464	R	R	R	NR	NR	NR
03ATA	2522	R	R	R	NR	NR	NR

Notas: NR: não Realizado; R: Realizado; ATB: Arame Tubular Baixa energia; ATM: Arame Tubular Média energia; ATA: Arame Tubular Alta energia.

**Figura 1.** Representação esquemática do corte transversal da chapa.

Para analisar os microconstituintes presentes na ZF dos corpos de prova com um cordão, para baixa, média e alta energia de soldagem, foi utilizado o sistema de classificação do IIW e o software ImageJ® para quantificar o percentual de cada microconstituente. Além disso, o tamanho de grão austenítico da GGZTA foi revelado com solução de ácido pícrico e medido utilizando o software citado anteriormente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição Química

Na Tabela 1 observa-se a composição química do metal de base, bem como o valor do Carbono Equivalente do IIW (CE_{IIW}) e do Parâmetro de carbono equivalente (Pcm). De acordo com os cálculos percebe-se que o aço API 5L X80 apresenta boa soldabilidade, pois seus valores de CE_{IIW} e Pcm são respectivamente 0,419 e 0,161, o que está de acordo com a norma API 5L 2013 que define que, para chapas com espessura inferior a 20,3 mm os valores do CE_{IIW} e Pcm aplicáveis devem ser inferiores a 0,43% e 0,25% respectivamente. Os corpos de prova também estão conforme com a norma API 5L no que diz respeito ao somatório de Vanádio (V), Nióbio (Nb) e Titânio (Ti). A norma especifica que esta soma não poderá exceder a 0,15%, e, como o valor deste somatório para metal de base mostrado na Tabela 1 é de 0,107%, ele está de acordo à especificação.

A Tabela 2 mostra a composição química do arame tubular AWS E91T8-G de 1,6mm utilizado como metal de adição. Verifica-se que os teores dos elementos de liga Silício (Si), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Cromo (Cr), Nióbio (Nb) e Cobre (Cu) são maiores que os apresentados no metal de base, indicando a princípio que a dureza e resistência do metal de adição serão maiores que as do metal de base.

3.2. Macrografia

Os cordões sobre chapa obtidos com o arame tubular autoprotetido AWS E91T8-G (01ATB, 02ATB, 03ATB, 01ATM, 02ATM, 03ATM, 01ATA, 02ATA e 03ATA), foram sobrepostos de forma a obter uma camada regular, a Figura 2 ilustra a macrografia dos corpos de prova com três cordões para os três níveis de energia utilizados. Foi verificado que com o aumento de energia de soldagem a penetração diminuiu e o ângulo de reforço aumentou. Esse aumento do ângulo de reforço não é prejudicial já que de acordo com o catálogo da ESAB [6] o metal de adição escolhido para o estudo foi projetado para passes de enchimento e acabamento devido a sua alta taxa de deposição. Além disso, através de inspeção visual, não foi verificada a presença de defeitos de soldagem, como mordeduras, porosidade, falta de fusão e outros.

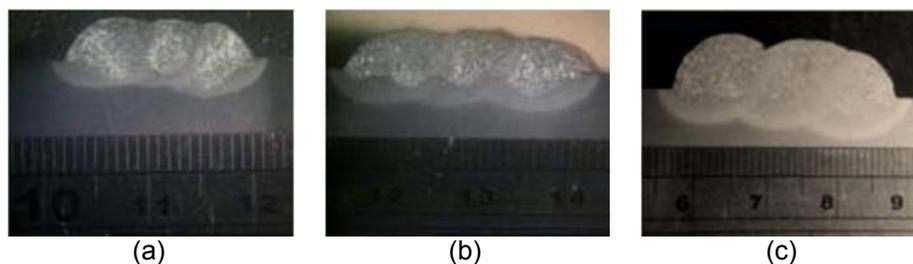


Figura 2. Macrografias dos corpos de prova com três cordões: (a) 03ATA; (b) 03ATM; (c) 03ATA;. Ataque Nital 5%.

3.3. Microdureza

Nas Figuras 3, 4 e 5 são apresentados os gráficos das microdurezas obtidas ao longo dos cordões sobre chapa no que diz respeito à microdureza horizontal transversal ao cordão para os corpos de prova em estudo.

Observa-se na Figura 3 que foi encontrada dureza de 373 Hv na ZTA do primeiro cordão no CP 03ATB, o que indica a presença de estruturas frágeis como a martensita. Verifica-se ainda que nas curvas de microdureza apresentadas nas Figuras 3b e 3c, a ZF apresenta regiões denominadas zonas fundidas reaustenitizadas, nas quais os valores de dureza da ZF1 e ZF2 diminuíram após a sobreposição de cordões. A ZF3 apresenta valores de dureza comparáveis à ZF1 sem sobreposição.

Analisando a Figura 4, verifica-se que da mesma forma que nos corpos de prova de baixa energia, foi encontrada durezas pontuais em torno de 350Hv na ZF1 do 02ATM (Figura 4b) e ZF3 do 03ATM (Figura 4c), indicando a presença de estruturas frágeis para os corpos de prova de média energia de soldagem. Nota-se ainda que há pouca influência da sobreposição do terceiro cordão sobre as ZF1 e ZF2, ao contrário do observado para os corpos de prova de baixa energia de soldagem. Para os corpos de prova de alta energia de soldagem, verifica-se na Figura 5 que não ocorreu presença de estruturas frágeis na ZTA e nem na ZF dos corpos de prova analisados.

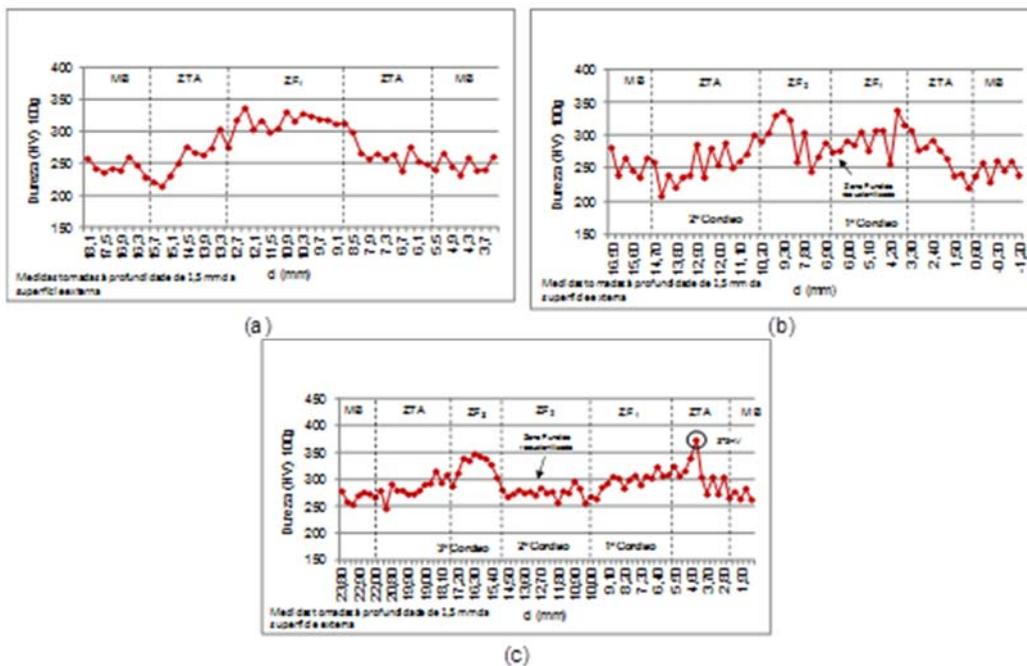


Figura 3. Microdureza horizontal para os cordões de baixa energia. (a) Microdureza Hv no 01ATB transversal ao cordão; (b) Microdureza Hv no 02ATB ao longo da camada; (c) Microdureza Hv no 03ATB ao longo da camada.

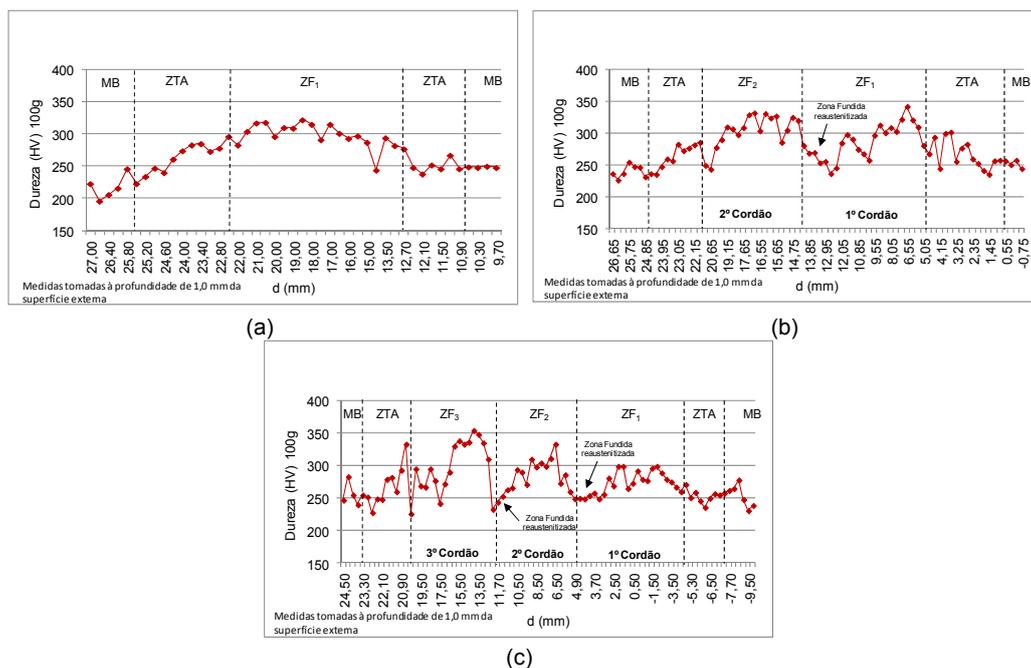


Figura 4. Microdureza horizontal para os cordões de média energia. (a) Microdureza Hv no 01ATM transversal ao cordão; (b) Microdureza Hv no 02ATM ao longo da camada; (c) Microdureza Hv no 03ATM ao longo da camada.

Uma análise global das Figuras 3, 4 e 5 mostra que, para baixa e média energia de soldagem, houve pouca influência da sobreposição na dureza das regiões ZTA e ZF no primeiro e segundo cordão dos corpos de prova 02ATB, 03ATB, 02ATM e 03ATM (Figuras 3b, 3c, 4b e 4c respectivamente). E que, para a alta energia de soldagem, no 02ATA e 03ATA essa influência é mais pronunciada como visto nas Figuras 5b e 5c.

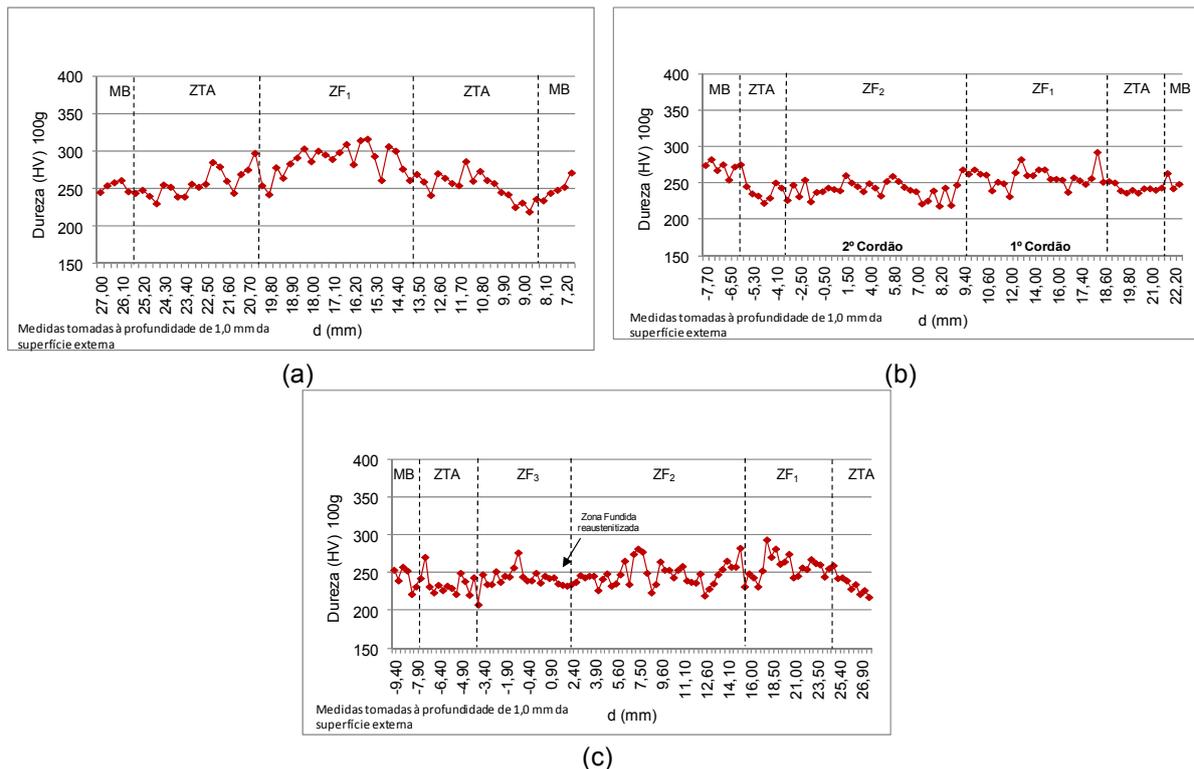


Figura 5. Microdureza horizontal para os cordões de alta energia. (a) Microdureza Hv no 01ATA transversal ao cordão; (b) Microdureza Hv no 02ATA ao longo da camada; (c) Microdureza Hv no 03ATA ao longo da camada.

3.4. Micrografia

Na Figura 6 são apresentadas as micrografias das diferentes regiões de uma solda para os corpos de prova com um cordão. Observa-se que o metal de base apresenta estrutura bandeada composta por ferrita e carbonetos, tipo bainita, normalmente encontrada nos aços obtidos por laminação controlada, como é o caso do X80. A região de refino de grão (GFZTA) apresenta estrutura de ferrita com grãos finos e carbonetos do tipo bainita como o MB, além disso, essas regiões possuem valores de durezas aproximados. A região de grão grosseiro apresenta pontos duros nos corpos de prova de baixa energia indicando presença de martensita e em geral a estrutura sendo de ferrita e carbonetos, tipo bainita.

Na ZF percebe-se um alto nível de dureza que pode estar relacionado com os elementos de liga presentes no metal de adição e com a morfologia da estrutura presente nessa região. Além disso, a zona fundida apresenta ferrita com segunda fase alinhada e não alinhada, alguns pontos de martensita; em geral não foi detectada a presença de ferrita primária e estes resultados estão coerentes com outros resultados encontrados anteriormente para a ZTA e ZF do mesmo aço por outros autores, [7].

Nos gráficos de microdureza horizontais mostrados nas Figuras 3, 4 e 5 verificou-se uma queda de dureza na ZF devido à reustenitização dessa região com a sobreposição dos cordões. O mesmo fenômeno ocorre entre os cordões dos corpos de prova de baixa e média energia de soldagem.

Na soldagem com vários passes, durante a sobreposição, cada passe pode afetar termicamente os que já foram depositados. Dessa forma, as regiões mais próximas do cordão a ser depositado serão aquecidas em temperaturas próximas à temperatura de fusão e por isso novas estruturas, diferentes da colunar típica da

solidificação, serão formadas. Já as regiões mais afastadas do cordão a ser depositado não atingem temperatura suficiente para que ocorra a reaustenitização e formação de novas estruturas, porém pode ocorrer, de acordo com a composição química do metal de adição, o revenimento de ilhas de martensita, precipitação e coalescimento de precipitados. Todas essas alterações citadas podem afetar o comportamento da ZF, [8].

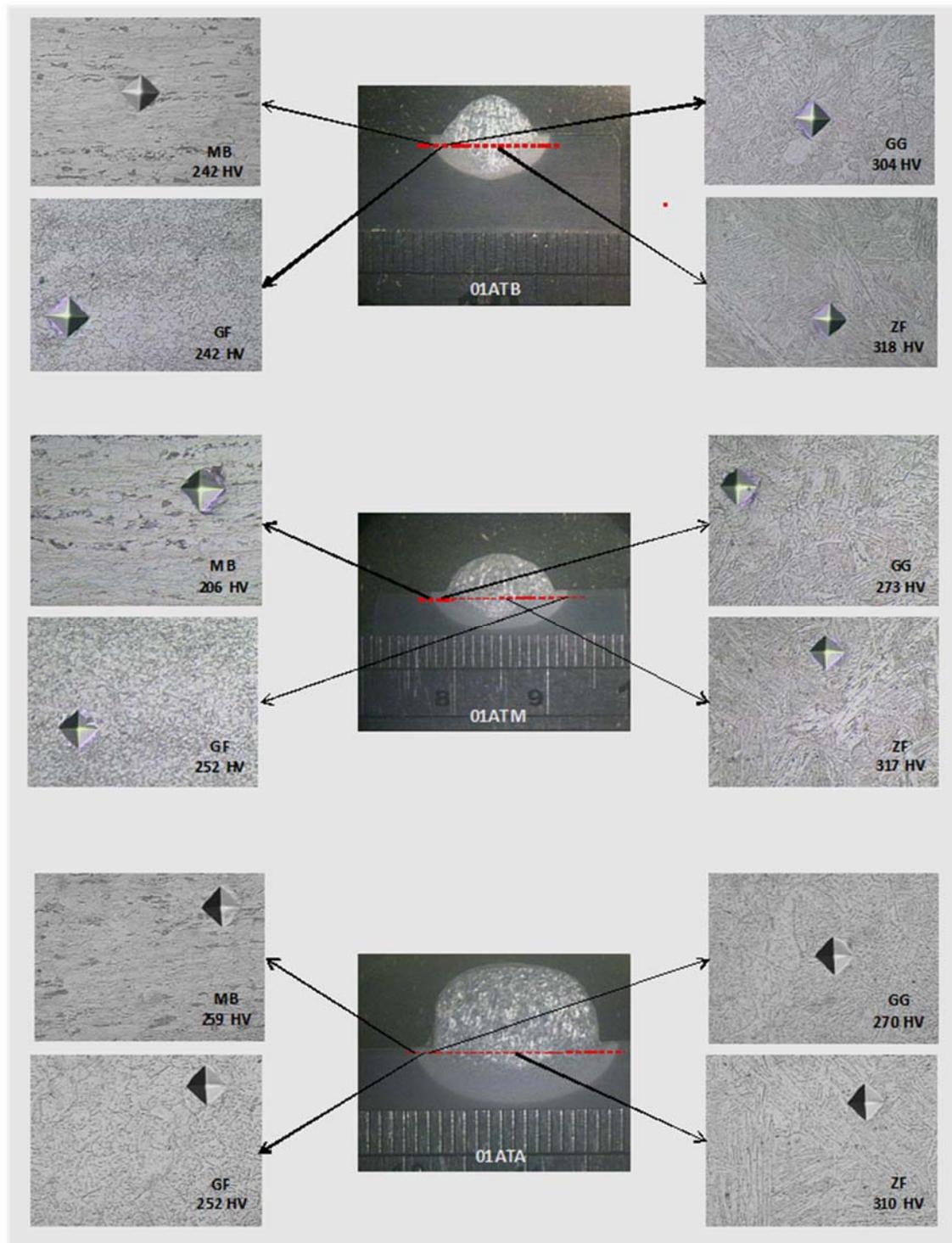


Figura 6. Micrografias com os valores de microdureza Hv para as regiões de Metal de base (MB), Grão Grosso (GGZTA), Grão Refinado (GFZTA) e Zona Fundida (ZF) para baixa (01ATB), média (01ATM) e alta (01ATA) energia de soldagem. Aumento de 500X.

3.4. Metalografia Quantitativa da ZF

A microestrutura da ZF em soldas com apenas um cordão é formada de microconstituintes como a martensita, ferrita e carbonetos devido à decomposição da austenita durante o resfriamento. Por se tratar de um aço baixo carbono, a estrutura é basicamente ferrítica, que, dependendo do ciclo térmico, pode possuir diferentes morfologias, [8].

Na Figura 7 verifica-se que, para os três níveis de energia estudados a estrutura presente é formada basicamente de ferrita com segunda fase alinhada (FS(A)) e ferrita com segunda fase não alinhada (FS(NA)). Como a classificação do IIW é para aço ferríticos, a classificação prevê a existência de ferrita primária, porém esse microconstituente praticamente não foi encontrado por se tratar de um aço baixa liga que possui estrutura composta basicamente por bainita e martensita. Sendo assim, essa classificação do IIW precisa de adequações, ou de uma nova proposta de classificação, para ser utilizada na quantificação de microconstituintes presentes na ZF dos aços baixa liga.

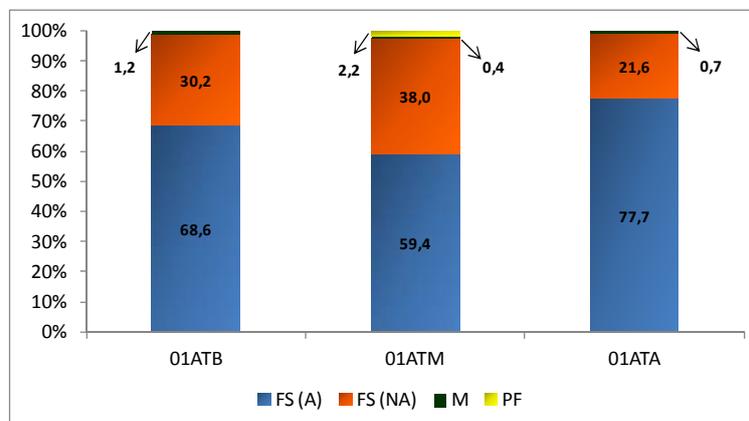


Figura 7. Gráfico do percentual dos microconstituintes presentes na ZF dos corpos de prova de baixa, média e alta energia de soldagem com um cordão.

3.5. Tamanho de Grão da GGZTA

A Figura 8 apresenta um boxplot com os resultados das medições de tamanho de grão da região GGZTA.

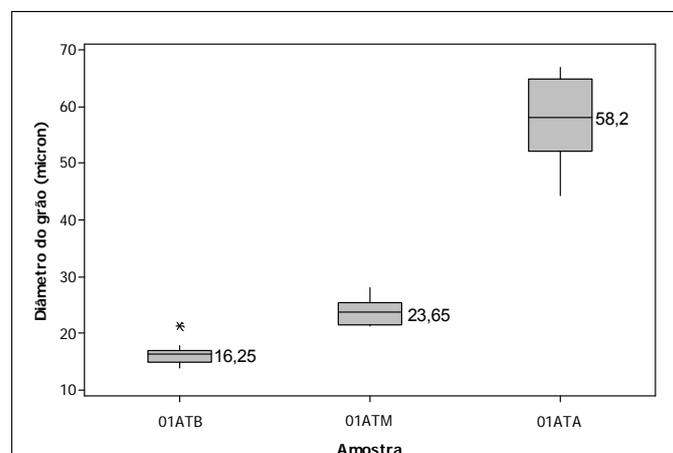


Figura 8. Tamanho de grão da GGZTA para baixa, média e alta energia de soldagem.

Verifica-se com a análise da Figura 8 que quanto maior a energia de soldagem maior será o tamanho médio do grão. No CP 01ATA o tamanho do grão é quase quatro vezes maior ($58\mu\text{m}$) que o metal de base que tem tamanho de grão da ordem de 10 micra [9], e 3,5 vezes maior que o tamanho de grão do corpo de prova soldado com baixa energia (01ATB). Esses resultados indicam que a tenacidade do aço X80 pode ser prejudicada quando se solda com altos níveis de energia como mostrado no trabalho de outros autores, [10]. Nesse trabalho encontrou-se que este aço quando soldado com 2470J/mm de aporte de calor, o tamanho de grão é da ordem de 56 micra e a energia de impacto a -20 e -40 é baixa (70J e 20J em média, respectivamente), prejudicando a resistência ao impacto do material. A Figura 10 mostra algumas das microfotografias nas quais pode ser visto a diferença do tamanho do grão para os três níveis de energia analisados.

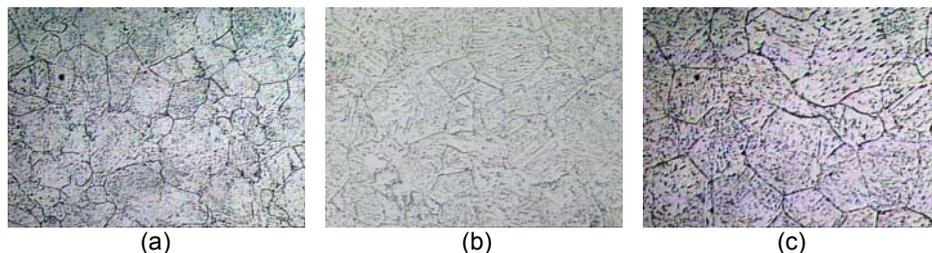


Figura 9. Fotomicrografias mostrando o antigo grão austenítico para as amostras 01ATB (a), 01ATM (b) e 01ATA (c). Ataque com solução de ácido pícrico. Aumento de 500X.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no trabalho sobre, soldas depositadas em camadas sobre chapa de aço ARBL X80, utilizando processo de soldagem arame tubular robotizado em determinadas condições de soldagem, permitem levar às seguintes conclusões:

1. O uso de elevada energia de soldagem (2400 J/mm) conduziu à diminuição da dureza e crescimento acentuado do tamanho de grão da GGZTA (da ordem de 58 micra), com a conseqüente queda da resistência ao impacto da GGZTA.
2. A região GGZTA não foi influenciada com a sobreposição de cordões com baixa e média energia de soldagem, indicando que a técnica utilizada não foi suficientemente adequada, e que outras técnicas de sobreposição podem ser experimentadas ou utilizar pré-aquecimento.

Com relação à ZF os resultados permitem concluir que:

3. Com os procedimentos de soldagem utilizados foi possível obter soldas isentas de defeitos de soldagem para todos os níveis de energia empregados;
4. É a região que apresenta maior dureza ao longo das camadas de solda obtidas, composta basicamente por ferrita com segunda fase alinhada e não alinhada compondo uma estrutura bainítica, com pontos de martensita que fragiliza esta região. Este fato indica a conveniência de se experimentar consumíveis com propriedades mecânicas mais próximas do metal de base;
5. As estruturas encontradas na ZF foram um tanto diferentes das previstas pela classificação do IIW, pois se utilizou eletrodo baixa liga. Assim a classificação do IIW foi parcialmente aplicada neste trabalho, sendo desejável que a mesma seja ampliada.
6. A microestrutura desta região é complexa e composta por sub-regiões de grãos finos e grosseiros afetados pelo efeito térmico da sobreposição dos cordões (reaustenitização dos grãos colunares típicos). Essa complexidade é a mesma encontrada em soldas multipasses;

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LRSS (Laboratório de Robótica Soldagem e Simulação) da UFMG, à Usiminas, à Esab, à ArcelorMittal Monlevade, ao CETEN pelo apoio logístico. Aos alunos de Pós-graduação do LRSS/UFMG, Luis Ramirez, Siderley Fernandes, Ariel Rodriguez, Cláudio Turani e José Aniceto pela colaboração durante as práticas realizadas no LRSS e aos alunos do grupo de soldagem da FaEnge/UEMG, Marcus Jardim e Catulo Guido pelo apoio na execução do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Gorni, A.A.; Da Silveira, J.H.D.; REIS, J.S.S. Metalurgia dos aços microligados usados em tubos soldados de grande diâmetro. 2010. 14p. Revista Corte e Conformação de Metais. Disponível em < http://www.gorni.eng.br/Gorni_CCM_Mar2010.pdf> Acesso em 10 dez. 2012.
- 2 Bott,I. Corrosão na Indústria do petróleo. Revista ABM, São Paulo. v.69, n.621, p. 53-57, jan/fev 2013.
- 3 Stalheim, D. G., Siciliano, F., The Application of High Temperature Processing (HTP) Steel for Oil and Gas Transmission Pipelines. In: RIO PIPELINES 2007 Conference,2., 2007,Rio de Janeiro.Anais..R.J. 02-04 de outubro de 2007.
- 4 API 5L 2013. Specification for Line Pipe. API Specification 5L Forth-fifth edition, july 2013. Washington, D.C, 2013.
- 5 ASTM E384-11. Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials.2011. DOI: 10.1520/E0384-11E01.
- 6 ESAB. Catálogo de produtos. 2008. Disponível em <http://www.krahenbuhl.com.br/catalogos/pdfs_acessorios/ESAB/catalogo_equipmentos.pdf> Acesso em 30 jan. 2013.
- 7 Arce Ch., A.R; Bracarense, A.Q.; et al. Estudo comparativo da microestrutura e propriedades mecânicas de soldas do aço X80 feitas pelos processos SMAW, por gravidade (normal e subaquática) e FCAW robotizados. In Congresso anual da ABM, 67., 2012, Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012. CD-ROM, INSS 1516-392X.
- 8 Modenesi, P.J. Soldabilidade dos aços transformáveis. Belo Horizonte. 2010. 75f.
- 9 Arce Ch., A.R. A comparative study on the effects of electric arc processes (subaquatic and in air mechanized SMAW and robotic FCAW) in the weldability of the X80 steel. In: RIO PIPELINES 2009 CONFERENCE,4., 2009,Rio de Janeiro.Anais..R.J. 22-24 de setembro de 2009
- 10 Arce Ch., A.R.; Souza, C.R.; et al. Determinação da resistência ao impacto da região de grão grosseiro da ZTA do aço API5L X80 soldado em condições de alta energia. In I Congresso Panamericano de soldagem, 2014, São Paulo. Associação Brasileira de Soldagem (2014).